

### La conversione A/D

Prima di poter essere elaborati da un personal computer i segnali di misura debbono essere convertiti in forma numerica. Lo strumento che effettua questa operazione è l'unità di conversione o convertitore Analogico digitale (ADC).

Si vuole porre adesso l'attenzione ai problemi che possono nascere quando si converte una informazione di misura analogica in forma numerica.

La struttura base di un sistema di misura basato sull'elaborazione numerica dei segnali è mostrata in Fig. 1.



Fig.1

Il segnale  $s(t)$  (vedi Fig. 2) è un segnale continuo nel tempo e nelle ampiezze.

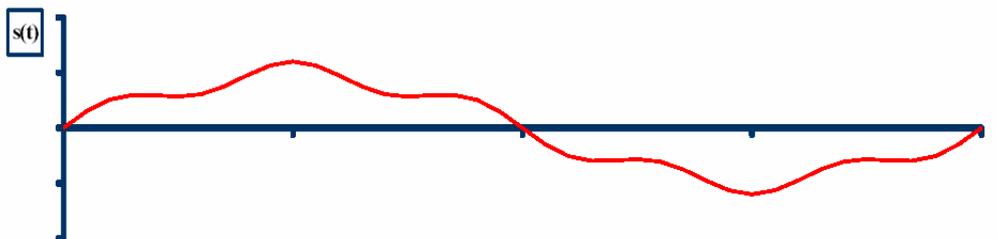


Fig.2

Cioè qualsiasi sia l'intervallo di osservazione tale segnale è sempre rappresentato da un numero infinito di punti.

Quando si effettua un campionamento quello che si cerca di fare è di rappresentare lo stesso segnale con un numero finito di punti.

In maniera intuitiva guardando la Fig. 3 si può dire di sì.

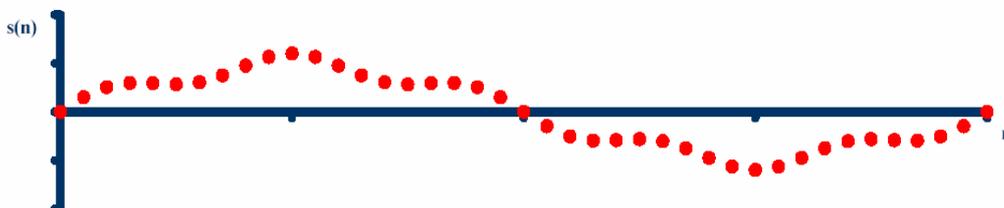


Fig.3

Ma in maniera altrettanto intuitiva osservando la Fig. 4 si può affermare di no.

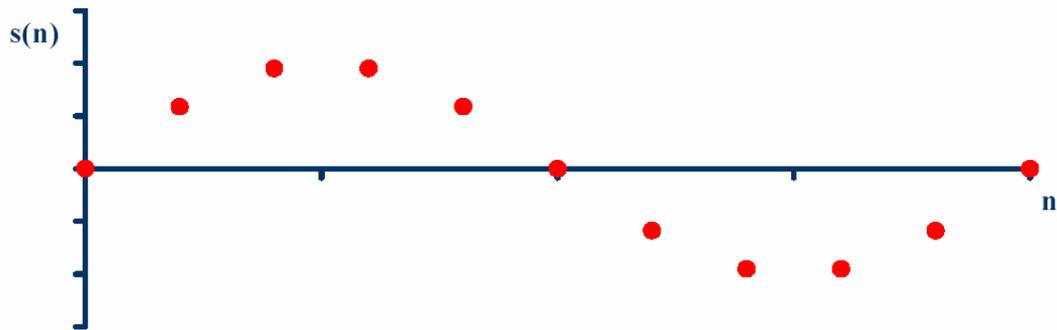


Fig.4

Il problema fondamentale dell'elaborazione numerica di segnali è stabilire se e come una sequenza, ottenuta dal campionamento di un segnale tempo continuo, contiene le stesse informazioni del segnale di partenza. Bisogna, cioè, verificare se il contenuto informativo associato al segnale nel dominio del tempo continuo si mantiene inalterato attraverso l'operazione di campionamento. Bisogna quindi verificare se è possibile estrarre dal segnale ottenuto nel dominio del tempo discreto le stesse informazioni associate al segnale nel dominio del tempo continuo

### L'aliasing

La frequenza di campionamento determina ogni quanto ha luogo una conversione analogico-digitale (A/D). Un'elevata frequenza di campionamento acquisisce più punti in un dato intervallo di tempo e può fornire una rappresentazione migliore del segnale originale rispetto ad una bassa frequenza di campionamento. Campionare troppo lentamente può causare una rappresentazione incompleta del segnale analogico.

La figura 5 mostra un segnale campionato adeguatamente e gli effetti di un sottocampionamento. L'effetto di un sottocampionamento è che il segnale appare come se avesse una frequenza differente da quella effettiva. Tale fenomeno prende il nome di aliasing.

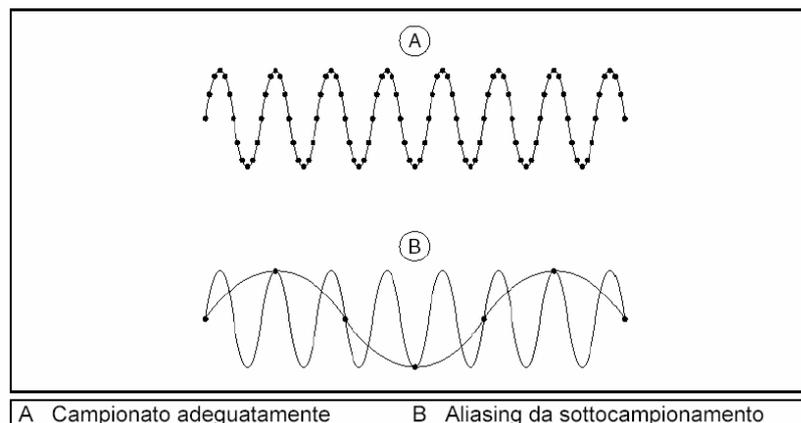


Fig.5

Secondo il teorema di Nyquist, è necessario campionare ad una frequenza più grande di due volte la massima frequenza componente del segnale che state acquisendo per evitare l'aliasing. Per una data frequenza di campionamento, la massima frequenza che può essere rappresentata accuratamente senza

aliasing è nota come frequenza di Nyquist. La frequenza di Nyquist è la metà della frequenza di campionamento. I segnali con componenti in frequenza al di sopra della frequenza di Nyquist appariranno replicate tra la componente in continua e la frequenza di Nyquist. La frequenza dell'alias (fantasma) è il valore assoluto della differenza tra la frequenza del segnale d'ingresso e il multiplo intero più vicino alla frequenza di campionamento.

Per esempio, supponiamo che  $f_s$ , la frequenza di campionamento, sia di 100 Hz. Supponiamo anche che il segnale d'ingresso contenga le seguenti frequenze: 25 Hz, 70 Hz, 160 Hz e 510 Hz. Queste frequenze sono mostrate nella figura 6.

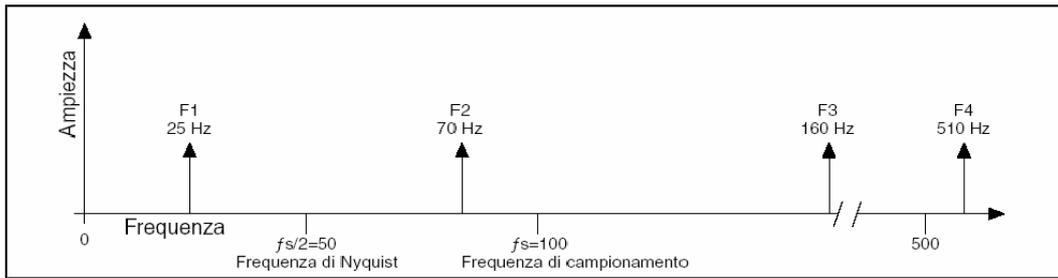


Fig.6

Come mostrato nella figura seguente, le frequenze al di sotto della frequenza di Nyquist ( $f_s/2 = 50$  Hz) sono campionate correttamente. Le frequenze al di sopra della frequenza di Nyquist sono affette da aliasing. Per esempio (Fig.7), F1 (25 Hz) appare alla frequenza corretta, ma F2 (70 Hz), F3 (160 Hz) e F4 (510 Hz) hanno le repliche rispettivamente a 30 Hz, 40 Hz e 10 Hz.

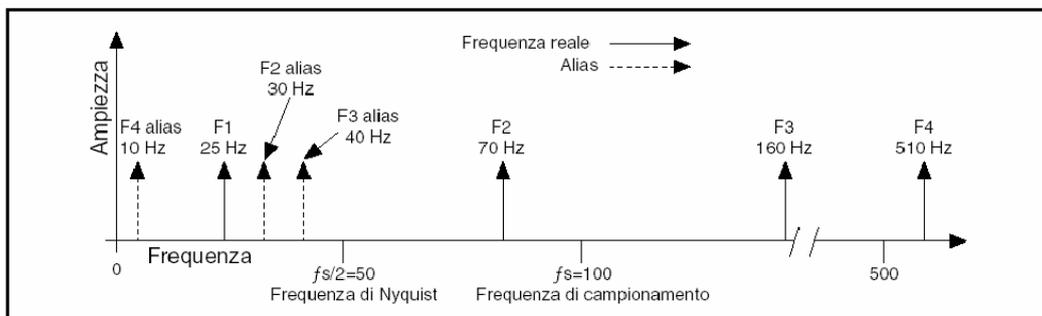


Fig.7

Per calcolare la frequenza delle repliche, si può utilizzare l'equazione seguente:

Frequenza della replica =  $ABS$  (multiplo intero più vicino alla frequenza di campionamento - frequenza d'ingresso)

dove  $ABS$  sta per valore assoluto. Per esempio,

$$\text{replica F2} = .100 - 70. = 30 \text{ Hz}$$

$$\text{replica F3} = .(2)100 - 160. = 40 \text{ Hz}$$

$$\text{replica F4} = .(5)100 - 510. = 10 \text{ Hz}$$

Quindi, il teorema di Nyquist fornisce un punto di partenza per la scelta di un'adeguata frequenza di campionamento, più grande di due volte la componente di frequenza più alta presente nel segnale. Sfortunatamente, questa frequenza è spesso inadeguata ai fini pratici. I segnali reali spesso contengono componenti in frequenza che sono al di sopra della frequenza di Nyquist. Queste frequenze vengono

erroneamente replicate e aggiunte alle componenti del segnale campionate accuratamente, producendo dati campionati distorti. Quindi, in pratica, di solito il campionamento viene fatto ad una frequenza diverse volte la massima frequenza. da 5 a 10 volte è tipico nel campo industriale.

### Filtri antialiasing

Come descritto in precedenza, la frequenza di campionamento dovrebbe essere almeno due volte la massima frequenza del segnale che viene campionato. In altre parole, la massima frequenza del segnale d'ingresso dev'essere inferiore o uguale alla metà della frequenza di campionamento. Ma come assicurare che questo si verifichi in pratica? Anche se si è sicuri che il segnale da misurare abbia un limite superiore in frequenza, il rilievo di alcuni segnali (come quelli delle linee di alimentazione o delle stazioni radio locali) potrebbe contenere frequenze superiori a quella di Nyquist. Queste frequenze possono quindi replicarsi nell'intervallo di frequenza desiderato e quindi fornire risultati errati.

Per essere completamente sicuri che il contenuto in frequenza del segnale in ingresso sia limitato, viene aggiunto prima dell'ADC un filtro passa-basso (un filtro che fa passare le basse frequenze ma attenua quelle alte) come mostrato in Fig.8.

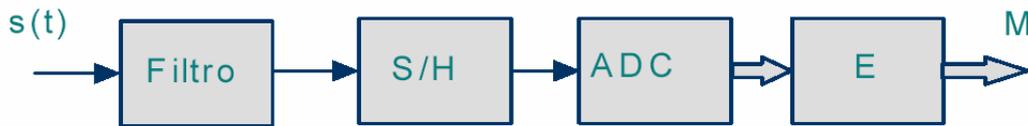


Fig.8

Questo filtro viene chiamato anti-alias perché previene le componenti di aliasing attenuando le frequenze più alte (più alte di quella di Nyquist). I filtri anti-aliasing sono analogici.

La figura 9 mostra un confronto tra un filtro anti-aliasing ideale e uno reale.

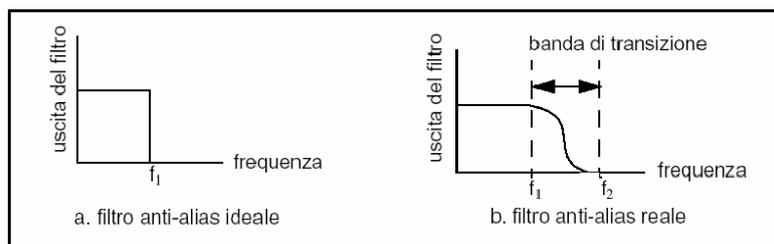


Fig.9

Un filtro anti-aliasing ideale fa passare tutte le frequenze d'ingresso desiderate (al di sotto di  $f_1$ ) e taglia tutte le frequenze indesiderate (al di sopra di  $f_1$ ). Tuttavia tale filtro non è fisicamente realizzabile. In pratica, i filtri appaiono come nella figura (b) sopra. Fanno passare tutte le frequenze  $<f_1$  e tagliano tutte le frequenze  $>f_2$ . La regione tra  $f_1$  e  $f_2$  è nota come banda di transizione e contiene un'attenuazione graduale delle frequenze d'ingresso. Sebbene si vogliono far passare solo i segnali con frequenze  $<f_1$ , questi segnali nella banda di transizione potrebbero causare ancora aliasing. In pratica, la frequenza di campionamento dovrebbe essere più grande di due volte la più alta frequenza nella banda di transizione.